M.O.P. Dirección de E. hidroeléctricos

Aprovecham. Hidroeléctrico d. Río Negro

Obra Rincón del Bonete.

Parte 1

Memória explicativa

M.O.P. Dirección de Estudios hidroeléctricos.

Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Negro.

Obra Rincón del Bonete

P a r t e 1.

Memoria explicativa

Dr.-Ing. A. L u d i n

Berlin, el 3.12.1933

I n d i c e

pag.

Prólogo. 1

A. Generalidades y bases del proyecto.

I. Líneas principales.

II. Las bases geológicas, 6

III. Las bases meteorológicas e hidrográficas. 14

B. Descripción de las obras. 17

I, El embalse. 17

II. La represa. 19

III. El vertedero. 22

IV. La usina. 25

V. Las instalaciones para la navegación. 27

VI. La transmisión de la energía eléctrica a Montevideo. 28

VII. La Red Nacional. 32

C. Economía de agua y de energía. 34

I. Principios del regimen de explotación. 34

II. Las potencias en las diferentes etapas y la energía hidráulica disponible. 35

III. Regulación del río. 37

pag.

IV. Otros efectos producidos por la retenida. 38

D. Sección financiera. 39

I. Costos de instalación. 39

II. Gastos anuales. 50

III Costo de la energía 53

Anexo 1.

P R Ó L O G O.

Como se sabe el agua ha sido en todo tiempo, uno de los factores más importantes para el desarrollo cultural de la humanidad. Documentos y restos de enormes construcciones en Egipto, India, China, Perú y Mejico nos demuestran que desde hace ya varias miles de años se sabía aprovechar el agua con una perfección que nos llama la atención , especialmente para el riego de los campos, el abastecimiento de agua de los centros de población, la construcción de vías navegables y protección de las zonas bajas contra inundaciones. Desde un principio desempeñó un papel decisivo en estas empresas grandiosas de la técnica la retensión del agua en grandes embalses artificiales como el célebre lago Moeris en el Alto Egipto y muchos otros.

Otra rama del aprovechamiento del agua de origen muy antiguo, pero limitada durante muchos siglos a su forma primitiva, fué el aprovechamiento de la energía de la caída de los cursos de agua, energía de la que sólo se podía disponer en el lugar mismo de su origen natural y que por lo tanto se aprovechaba solamente para servicios locales de pequeña importancia, para molinos ó fábricas. En los primeros tiempos del desarrollo de la energía del vapor pareció que este forma de aprovechamiento tendría que desaparecer.

Apenas ha transcurrido algo más de medio siglo desde que la invención de la transmisión de la energía eléctrica permitió librar la energía hidráulica de su carácter local y de su existencia diseminada, abriendo el camino al desarrollo de usinas hidro-eléctricas de cada vez mayor importancia, cuya energía se transporte a muchos centenares de kilómetros a los grandes centros de población e industriales y que puede también repartirse a voluntad en extensos territorios.

Las bien conocidas ventajas de la energía eléctrica, como ser su extraordinaria divisibilidad y la posibilidad de transformación en luz, calor y energía mecánica como la limpieza y, sencillez de empleo, transformaron la energía hidráu-

lica convertida en electricidad en un elemento de incalculable valor, imprescindible al progreso cultural y bienestar material en todos países de pocas reservas de combustible, como Suiza, Suecia, Noruega, Italia y España.

Pero también los países con importantes yacimientos de combustible, como Norte-America, Alemania, Francia, etc.,muy pronto no titubearon ya en explotar, no solamente sus yacimientos de carbón y petroleo, sino también las fuerzas hidráulicas , pues la experiencia demostró bien pronto que no es la competencia exclusiva entre la energía hidráulica y la del vapor la que redunda en ventaja de la economía de una nación, sino una colaboración racional de estas dos grandes fuentes de energía. Este hecho todavía no apreciado siempre y en todas partes en su justo valor, está bien fundado en las exigencias establecidas por el consumo, por una parte, y en las condiciones de explotación técnico-económicas de las dos fuentes de energía, por la otra, como se explica detalladamente más adelante. Basta aquí remarcar sobre el número extraordinario de magníficos ejemplos de una colaboración evidentemente ventajosa desde el punto de vista económico, de la energía térmica e hidráulica, ejemplos como los vemos realizados en vastas proporciones en Europa y en los Estados Unidos de Norte-America. Sea mencionada como ejemplo la unión del distrito industrial y hullero renano-vestfálico con la usina de Goldenberg cerca de Colonia (lignito) y con las usinas hidroeléctricas sobre el Meno, Neckar y el Alto Rhin y hasta con los Alpes (Vermunthwerk) por intermedio de una línea de transmisión de 220 kV sobre 550 km, ó el magnífico suministro de energía de Pensilvania con la gigantesca usina hidroeléctrica sobre el Susquenama River y las usinas térmicas no menos importantes cerca de Pittsburg(Pensilvania).

En la América del Sur, el suministro de energía eléctrica todavía no se ha extendido en esencia más allá de un primer grado de abastecimiento individual de determinadas ciudades y sus alrededores inmediatos. Por regla general son los combustibles la fuente de energía y los casos de aprovechamiento de energías hidráulicas cercanas son muy raros; siendo

las usinas hidroeléctricas existentes relativamente pequeñas.

Sin duda existen proposiciones y hasta proyectos de aprovechamiento de gigantezcas fuerzas hidráulicas, particularmente del Iguazú , del Alto Paraná y del Salto Grande del Río Uruguay. Pero la dificultad de aprovechar las enormes cantidades de energía de estas fuerzas hidráulicas, cuya construcción aparece en ciertos casos muy ventajosa del punto de vista técnico, consiste sobretodo en la gran distancia que las separa de los centros de consumo lo que constituyen ya un impedimento puramente técnico difícil de salvar y la ejecución de tales obras deberá aplazarse en algunos decenios de años al menos por el aspecto económico.

En comparación con estos proyectos gigantescos el proyecto del aprovechamiento hidroeléctrico del Río Negro ofrece la gran ventaja de que a la accesibilidad cómoda de lugar de la obra se añade la posibilidad de escalonar su capacidad en una forma que corresponde al desarrollo del consumo de una metrópoli como Montevideo y a la evolución económica de un país como la República Oriental del Uruguay.

Así por consiguiente el proyecto del Río Negro en cuanto a su factibilidad supera mucho a los proyectos antes mencionados que sólo podrán realizarse económicamente en un futuro muy lejano.

El proyecto del Río Negro muestra también posibilidades y dimensiones para un mayor desarrollo en el futuro. La obra inicial a construirse en Rincón del Bonete, que tan bien se inserta en la línea del desarrollo del consumo de Montevideo y de la zona a lo largo de la línea de transmisión, constituye con su gigantesco embalse el punto de partida imprescindible para el aprovechamiento futuro en forma ventajosa de toda la riqueza de energía del Río Negro aguas abajo de Paso de los Toros. Según los estudios preliminares hechos por el autor en los años 1929-30 se pueden establecer en esa parte del río otros poderos escalones hidroeléctricos que permitirán poco a poco triplicar la potencia obtenible en Bonete.

Se puede por lo tanto fijar como cierto que el Río Negro durante muchos decenios estará en condiciones de cubrir en forma económica las necesidades de energía del país y mismo se puede pensar en la exportación de la energía hecho ya muy desarrollado en Europa y que requiere tratados previos que seguramente se harán con el tiempo en el Río de la Plata.

A. Generalidades y bases del proyecto.

I. Líneas principales.

El aprovechamiento hidroeléctrico del Río Negro es un problema en el que se han ocupado desde hace muchos decenios los ingenieros más capaces del Uruguay y de otros países. El Río Negro es la arteria vital del país y que, con su enorme caudal, representa, a pesar de su pendiente relativamente pequeña, una fuente de energía extraordinariamente lucrativa, cuyo aprovechamiento para el abastecimiento del país pareció, desde un principio, muy seductivo. Se preparó tal aprovechamiento por observaciones y mediciones hidrográficas minuciosas durante muchos años, y se estudió y examinó el problema desde todos los puntos de vista. El motivo principal por el cual no se ha realizado aun la obra es porque teniendo en cuenta la magnitud de la energía disponible sólo se puede obtener una explotación económica de la obra sino cuando está asegurado el consumo correspondiente a la energía que se puede generar. Tal consumo de energía existía en los años transcurridos sólo en Montevideo, donde el desarrollo del consumo en los últimos años no justificó una producción suplementaria de energía de varios centenares de millones de kWh anuales. Recién con el aumento del número de habitantes de Montevideo y, al mismo tiempo, del consumo específico de energia eléctrica se llego ahora a un estado para el cual es económico y ventajoso explotar la importante fuente de energía que posee el país en el Río Negro, independizando el abastecimiento de energía de los combustibles importados y substituyéndolos, en su mayor parte, por la energía hidráulica existente en el país mismo.

En los estudios anteriores sobre el aprovechamiento hidroeléctrico del Río Negro se habían tomado en consideración diferentes puntos del río para la construcción de la primera usina. La pendiente es en todo el curso del río casi constante. Saltos de cierta magnitud no existen en ninguna parte; un salto como se requiere para un aprovechamiento económico de la fuerza hidráulica puede obtenerse únicamente por un represamiento bastante considerable. La creación del salto por conducción del agua mediante canales laterales no es económica, pues los canales que por la altura del río deberían dimensionarse para con-

ducir enormes cantidades de agua dada la poca pendiente del río y por lo tanto resultarían demasiado caros aún en sitios en que, como en el Rincón del Bonete, puede cortarse una vuelta muy grande del río por un canal comparativamente corto.

Todos los proyectos para la construcción de la usina hidráulica, estudiados en el transcurso de los últimos diez años, coinciden en que hay que cerrar el río por medio de una presa e instalar junto a ésta la usina hidráulica para aprovechar el desnivel entre las aguas de la retenida y las aguas en el curso normal.

A la elección decisiva entre los diferentes sitios para la obra debió procederse, por consiguiente, a base de las condiciones orográficas y geológicas. El relieve del suelo ofrece un aspecto que se modifica muy poco en todo el curso del río. El Río Negro surca con sus numerosas y largas vueltas una meseta baja a la cual penetra el fondo del río hasta 20 y 30 m. El ancho de su cauce muy variable a consequencia de sus muchos afluentes , se estrecha únicamente en pocos sitios en que las cuchillas se acercan mucho en ambas márgenes. Estos estrechamientos que, por regla general, se encuentran junto a una de sus numerosas vueltas, son los sitios en que, desde el punto de vista orográfico, debe construirse la represa. Por este motivo se estudió, en un principio, un lugar algo aguas abajo de la desembocadura del Río Tacuarambó cerca de la Isla de González, más tarde otro junto al Cerro de la Manga, luego, con más minuciosidad, un tercero cerca de Rincón de Cabrera y , por último, bastante más abajo a unos 10 km aguas arriba de Paso de los Toros un lugar denominado Rincón del Bonete.

A la elección del lugar definitivo debió procederse, considerando ante todo el punto de vista geológico. Los estudios previos hechos por la Comisión Nacional de Estudios Hidroeléctricos tuvieron por objeto ante todo aclarar las condiciones de la fundación en los distintos lugares.

El primero de los lugares previstos para la construcción de la represa se encuentra en la zona de los sedimentos del Gondwana que cubren el fundamento cristalino. La constitución de los mantos superiores de esta serie de rocas, decisiva para la fundación , era deficiente por su solidez e impermeabi-

lidad, como lo demostraron los testigos de roca obtenida por las perforaciones. Además, el relieve y la forma de las altas márgenes eran desfavorables. Por eso no pareció aconsejable levantar allí una represa de 30 a 35 metros de altura para un embalse de varios miles de millones de metros cúbicos de contenido, porque no existía garantía suficiente para la estabilidad del dique y la impermeabilidad del represamiento. También los perfiles del Cerro de la Manga y del Rincón de Cabrera eran desfavorables desde el punto de vista geológico, porque se encontraban aún muy cerca del límite entre los sedimentos y los meláfiros eruptivos. Además, las condiciones orográficas no eran favorables, porque la retensión de las aguas exigía la construcción de un dique lateral para cerrar un bajo extenso en la cuchilla adyacente.

A base de largos y minuciosos estudios de carácter topográfico y geológico se eligió finalmente el Rincón del Bonete como lugar de la represa. Aquí se encontró en un quiebro relativamente cerrado de una cuchilla poderosa un perfil favorable desde el punto de vista topográfico y geológico que presenta un aspecto satisfactorio respecto a la solidez y la impermeabilidad de los mantos melafíricos que se extienden desde la cuchilla hasta 125 metros debajo del fondo del río.

II. Las Bases geológicas. [1]

La estructura geológica del Uruguay no está todavía aclarecida completamente por perforaciones y pozos abiertos; sim embargo se conoce a grandes rasgos para la zona principal del país . Por lo tanto se necesitaban numerosas perforaciones para determinar las condiciones geológicas para la instalación de una usina en el Río Negro y que simultáneamente sirvieran

---

1) El capítulo siguiente se basa aparte de las investigaciones propias del autor en el Informe geológico, del Profesor Dr. Julius Wilser, Freiburg i.Br. que a su vez se apoyó en el Informe geológico del Dr. P. Groeber, Buenos Aires.

para ilustrar la estructura geológica del embalse correspondiente.

El subsuelo rocoso que aflora en grandes extensiones forma en la cuenca del Río Negro una cubeta tectónica muy llana cuyo eje en un trecho de 25 km de largo tiene una caída hacia el Oeste de 100 m. A excepción de una flexión presunta en la línea Achar-Cerro de la Manga existirán solamente flexiones muy llanos y de importancia secundaria.

El fundamento cristalino aparece al Sur de la represa hacia la divisoria de agua entre el Río Negro y el Río Yí quedando a flor hacia el Oeste hasta la unión de estos dos ríos. Además aflora al Este en el Río Negro superior.

En la cubeta se encuentran encima del fundamento cristalino sedimentos del Paläocoico, más arriba morena y areniscas (Itararé) de la formación del Gondwana y finalmente como miembro más reciente de la misma formación una serie poderosa de meláfiros.

Si se sigue el curso del Río Negro desde la frontera brasilera hacia aguas abajo se encuentra durante mucho tiempo los sedimentos del Itararé; recién en los alrededores de San Gregorio empiezan las rocas efusivas; Apareciendo primeramente sólo sobre los cerros de las cuchillas que rodean el cauce del río, mientras que en las laderas y en el cauce mismo se encuentran todavía las rocas sedimentarias del Itararé. Más hacia aguas abajo desciende paulatinamente la superficie de separación entre meláfiros e Itararé a medida que aumenta el espesor de la capa de meláfiro; pocos kilómetros aguas arriba del Rincón de Cabrera esta superficie corta el fondo del río quedando el Río Negro a partir de este lugar completamente encansado en meláfiro . En el Rincón del Bonete los mantos melafíricos según el resultado de la perforación tienen ya el espesor arriba mencionado de 125 m bajo el fondo del río; se mantienen a flor hacia el Oeste hasta quedar cubiertos en la desembocadura del Río Yí por mantos más recientes todavía (areniscas del cretáceo etc.). El plano 1 b demuestra la estructura geológica general; se vé que la presa proyectada y la parte Oeste del embalse queda dentro de los meláfiros , en cambio la parte Este del embalse dentro de los sedimentos del Itararé.

Esos sedimentos se componen de margas de arrastre con margas estratificadas intercaladas y más arriba areniscas rojas de mucho espesor. Ambos tipos de roca si no están expuestos a la acción de la intemperie ni del agua pueden tener la resistencia del hormigón pero generalmente se deshacen por la humedad ó el aire. La morena no da lugar a filtraciones pero falta comprobar todavía su continuidad. Las areniscas son permeables de acuerdo con su contenido de arcilla , pero su estratificación discordante generalmente no favorece la existencia de horizontes acuíferos muy extensos.

Las perforaciones hechas en el Rincón del Bonete mostraron que el espesor de los meláfiros es de 160 m bajo la cumbre de la cuchilla; los sedimentos debajo de los meláfiros también se han atravesado por una perforación (No.4) que alcanza el fundamento cristalino; tienen un espesor de 200 m en el lugar de la represa.

Para la estabilidad del dique sólo entra en consideración las características de los meláfiros en vista del gran espesor de la capa. Las perforaciones han demostrado una composición muy variada de los mantos melafíricos, llevando a la conclusión que el origen de los meláfiros se debe a varios efusiones volcánicas consecutivos.

El Geólogo Doctor P. Groeber en su informe establecido a base de las perforaciones admite ocho escoriales bastante gruesos puestos uno sobre el otro.

Sin embargo no puede desprenderse exacta y seguramente de los resultados de las perforaciones una estratificación propiamente dicha, que marcara los límites entre los diferentes escoriales. Fué necesario hacer suposiciones para encontrar cierta regularidad y orden en la estructura geológica cuya líneas fundamentales se conocen por las perforaciones.

Generalmente los escoriales se componen de una capa superior y otra inferior resquebrajada y descompuesta y entre medio un cuerpo sólido; pero éste también puede estar dividido en distintas capas y bloques especialmente cerca de la superficie de la tierra. Generalmente debe decirse que en todos los escoriales capas sólidas pueden cambiarse en cualquiera dirección en capas malas y viceversa. Cuanto más delgada una

capa tanto menos sirve desde el punto de vista de la técnica de la construcción. Además hay que tener en cuenta que todos los mantos primitivamente fueron atravesados por grietas de solidificación y que los mantos en un principio fueron todos permeables y que sólo por el efecto del trompo se han vuelto más ó menos impermeables. Igualmente tiene importancia técnica una estratificación horizontal producida también dentro de los cuerpos sólidos por su enfriamento progresivo y solidificación.

Los meláfiros en estado fresco (caracterizado por un color gris hasta negro-azul) sirven bien de fundación y material de construcción . Pero por alteración se transforman finalmente en una masa en forma de bloques en parte desmenuzable y hasta arcillosa, aunque sólo excepcionalmente; existen muchos estados intermedio de alteración, parcialmente utilizables todavía.

La alteración primaria de los meláfiros fué facilitada en las superficies superiores ó inferiores de los escoriales por corrientes de gases y aguas, además por haber formado la superficie del terreno durante la formación en etapas de los mantos; además tuvo lugar una alteración secundaria después de la formación de los mantos por corriente de aguas ó aire que provenían especialmente desde la superficie reciente. Estos procesos secundarios continúan aun hoy día. En los perfiles geológicos I, II y V se ve claramente que los mantos melafíricos bajo el lecho del río hasta el quinto escorial son mucho más alterados que los lados en las partes altas donde afloran parcialmente en las cuchillas trechos de meláfiros sólidos.

Según el grado del tinte rojizo de la coloración gris azulada que tiene la roca en su estado fresco se puede juzgar el grado de la alteración sufrida. Cuento más adelantada la alteración , tanto menos sólida la roca. Algunos pocos ensayos de presión realizados en el Instituto de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniera en Montevideo dieron los siguientes resultados:

De las rocas fuertemente descompuestas y con numerosas y grandes burbujas que se presenta con cierta frecuencia no se pudieron hacer ensayos; sus testigos más malos se deshacen cuando se moja.

En general teniendo en cuenta lo dicho antes puede considerarse las capas de meláfiro como suficientemente sólidas como para fundar sobre ellas una presa de 40 m. Esto rige sobre todo para los cuerpos sólidos de los escoriales cuya solidez y alta resistencia a la presión ya se ve exteriormente. Sin embargo hay que recordar que también estas capas debido a su origen volcánico presentan parcialmente grietas y superficies de separación .

Por lo tanto hay que tomar en cuenta que posiblemente al explotar el material en las canteras también estas capas rompen en pedazos chicos. A base de las investigaciones disponibles al momento no puede predecirse nada exacto al respecto pues los testigos sacados con perforación a corona son demasiado chicos para comprobar tal propiedad; por otra parte no existen pozos abiertos de número ó tamaño suficiente.

Una atención más minuciosa y crítica exigen aun las capas alteradas que se encuentran en todas partes y con gran irregularidad. La alteración varía en todos los grados desde el tinte marron que no significa siempre una solidez reducida hasta la descomposición completa que no ofrece más ninguna solidez y por lo cual no se pudieron sacar testigos de algunas de tales capas. Tales partes descompuestas generalmente no tienen mucha extensión , siendo posible por lo tanto su excavación si están cerca de la superficie ó su consolidación ó aislación por inyecciones, si se encuentran a profundidades mayores. A excepción de estas capas descompuestas y deshechas, los productos alterados del meláfiro sólido pueden emplearse para cimentar sobre ellos una obra. Se trata de una roca, cuya color cambia según el grado de alteración desde azul pasando por el marron hasta el rojo, siendo el último el indice para la descomposición más intensa. Simultáneamente con esta alteración se nota muchas veces la existencia de numerosas burbujas que fueron la causa de la alteración.

Estas burbujas que en su mayor parte se han formado al enfriarse y solidificarse la masa efusiva, miden de 1 hasta 8 milimetros y están llenas generalmente por calcitas ó zeolitas. Se encuentran también burbujas mucho más grandes con sus paredes revestidas por cristales. Las capas en las cuales abundan las burbujas ofrecen naturalmente menos resistencia al ataque de las aguas filtrantes que entran por grietas y fisuras y es por eso que se encuentran a veces dentro de tales capas cintas de un material arcilloso ó completamente deshecho.

Un resumen de los resultados de las perforaciones hechas en el Rincón del Bonete esta dado en los planos 7, 14,108, 109 para los perfiles I, II y V. Además existe un catastro de todas las perforaciones (véase los planos 43,44 y 45). Los testigos de todas las perforaciones hechas, están archivados en el "Instituto de Geología y Perforaciones" en Montevideo, donde pueden inspeccionarse. Además una colocación de algunos testigos se encuentra en la Escuela Técnica Superior de Berlin, donde puede inspeccionarse por intermedio del autor. La letras en los planos puestas al lado de las perforaciones significan diferentes tipos de roca de acuerdo con la colección de testigos que se mandó a las casas concursantes en el año 1930.

Aguas subterráneas.

Además de la solidez del subsuelo es muy importante para la construcción de una presa el problema de su impermeabilidad y de su resistencia al agua. En varias perforaciones se han encontrado aguas subterráneas bajo presión parcialmente agua surgente, es decir que subió en los caños de perforación hasta encima del nivel del río. Este fenómeno comprueba la existencia de comunicaciones subterráneas sobre largas distancias. Más explicaciones sobre este problema se darán en la parte 2. Las investigaciones y cálculos sobre la capacidad de estos horizontes acuíferos y las pérdidas que producirán para el embalse futuro están basadas en suposiciones razonables y amplias; sim embargo siempre comprenden cierta incertidumbre inevitable que deben tenerse en cuenta tanto para la ejecución como para la explotación de la obra.

A base de los resultados obtenidos de las perforaciones pueden considerarse los meláfiros, en general, poco permeables. Las grietas mayores encontradas en diferentes capas están en su mayor parte aisladas, es decir sin comunicación entre ellas;también las rocas en las cuales abundan las burbujas sólo darán acceso a filtraciones subterráneas ,- sólo cuando comprenden fajas continuas de fuerte descomposición, originadas por el arrastre del material descompuesto . Lo más probable por el origen de los mantos melafíricos es que tales horizontes acuíferos se encuentren en el contacto entre dos escoriales consecutivos.

No existen datos suficientes para determinar la extensión de los numerosos horizontes acuíferos encontrados; por lo tanto el criterio de este problema debe basarse en reflexiones algo teóricas como se darán en la parte 2.

Los pocos datos disponibles hasta la fecha sobre horizontes acuíferos en los meláfiros debajo del cauce del Río Negro indican con certeza una corriente aúnque infima de las aguas subterráneas. Sin duda la creación del embalse de Bonete ocasionará un aumento correspondiente de esta corriente, pero como lo demuestran los cálculos muy cuidadosos (véase parte 2) las pérdidas de agua por filtración también en el caso más desfavorable quedarán muy limitadas en relación al caudal del río y al volumen del embalse.

De ninguna manera podrán amenazar las corrientes subterráneas ni la estabilidad de la presa ni el rendimiento del embalse. Más bien puede admitirse con buena razón que en la profundidad a considerar para la estabilidad del dique será posible cerrar el paso al agua subterránea mediante inyecciones de cemento en forma irreprochable y económica. Lo mismo rige si se presentarán perdidas por filtraciones através de las cuchillas que hoy se encuentran encima del nivel del río. Estas filtraciones al llenarse el embalse seguirán a la inclinación de los mantos y a las zonas descompuestas mientras encuentren desagüe através de alguna cañada ó en alguna curva del río. Pero ni siquiera en el lugar de la represa donde una capa probablemente permeable atraviesa entre las cotas + 60 y + 65

la cuchilla y una cubierta muy resquebrajada del escorial conduce por el camino más corto hacia la salida del Rincón del Bonete alcanzará valores inadmisibles.

El nivel normal propuesto fijado a la cota + 80,0 y más tarde hasta + 84,0 debe considerarse bien admisible tanto más cuanto será posible en todo momento impermeabilizar mediante inyecciones de cemento las capas permeables en la parte más angosta de la cuchilla sobre pocos kilómetros.

Igualmente será posible durante la ejecución de la obra efectuar el agotamiento de las zanjas de fundación con los recursos previstos para tal objeto.

Resumiendo estas consideraciones puede decirse que las condiciones geológicas aúnque no séan las mejores deseables para la construcción de una obra que transmite presiones fuertes sobre el subsuelo, permitirán sin embargo con toda corteza, con los métodos de construcción y construcciones propuestas en el proyecto efectuar todas las partes de la obra con absoluta seguridad y garantir un servicio irreprochable de la instalación sin amenazas de socavaciones ni de pérdidas enormes de agua.

Estabilidad de las orillas del lago.

Las socavaciones y los desmoronamientos que se observan, generalmente, en los embalses artificiales por las continuas fluctuaciones del nivel del lago no serán importantes en el embalse tan extenso del Río Negro ni en la zona de los melafiros ni en la del Itararé a causa de la poca cubierta de las márgenes ya por sí poco inclinadas.

Los datos disponibles sobre el estado químico del agua subterránea se encuentran en el anexo 1. Son importantes y suficientemente valiosos para ser completados por otras muestras más, pues, según el Dr. Groeber, pudieran existir combinaciones de alumbe y de azufre, además, ácidos del humus acarreado por el río. Todos estos productos, así como los carbonatos de hierro atacan el cemento comun, de manera que pudiera exigirse el empleo de cemento de alto horno ó un producto parecido para la preparación del hormigón.

III. Las bases meteorológicas e hidrográficas.

Las características hidrográficas y meteorológicas se han reunido en el plano 64. El plano N°1 a contiene, además, las alturas medias anuales de lluvia. La altura anual de las lluvias en la zona del embalse es de unos 1 100 mm, en término medio.

La repartición de estas precipitaciones sobre las estaciones del año es muy irregular. Generalmente los meses Julio y Agosto son pobres en lluvias, en cambio en el mes de Abril abundan las lluvias. El escurrimiento acompaña las precipitaciones con bastante retrazo quedando influido mucho más por la evaporación natural que por la marcha de las lluvias. Así se explica que en los meses de poca evaporación , es decir en el invierno (Mayo hasta Septiembre) el escurrimiento sea máximo, mientras disminuye rápidamente en los meses de verano (Enero hasta Marzo), debido a la mayor evaporación . A pesar de la irregularidad del escurrimiento pueden diferenciarse con toda claridad en los diagramas de alturas del Río Negro los períodos anuales de mucha y de poca agua. Existe un período de mucha agua desde fines de Abril hasta fines de Octubre y un período de poca agua desde fines de Octubre hasta fines de Abril.

Estas fluctuaciones del gasto en el curso de un año se acentúan aún extraordinariamente en tiempos de crecidas y de sequías, de modo que el caudal del Río Negro en Bonete puede aumentar por una crecida extraordinaria hasta 9 000 m^3/seg., y el nivel puede elevarse hasta unos 18 m sobre estiaje produciendo grandes inundaciones. Por otra parte, se observan períodos de sequías de varios años de duración en que el caudal de verano se reduce casi a cero y el caudal medio anual baja a la cuarta parte del promedio de muchos años. Los valores característicos para el caudal del Río Negro, medidos en la escala de Rincón del Bonete en el período de 1909 a 1932, son los siguientes:

Estiaje	20 m^3/seg.	
gasto medio	444	"
gasto máximo producido al menos una vez por año	460	" (año 1917)
gasto máximo producido al menos 5 veces	4340	"
" " " " " 2 "	4920	"
" " " " " 1 "	5400	"

A veces el nivel del río suba con una rapidez extraordinaria; (7 metros en 9 horas!). Es evidente que las fuertes fluctuaciones son muy desfavorables para el aprovechamiento del agua y la navegación .Una vez terminada la presa se observará una gran mejora en este sentido, pues el volumen tan grande del embalse permite almacenar casi completamente las crecidas normales compensando así el desagüe en tiempos secos. También las crecidas extraordinarias se reducirán fuertemente atenuandolas de 9 000 m^3/seg. a 5 050 m^3/seg. como máximo.

Arrastres.

El arrastre por el Río Negro de materia en suspensión y asentada en su mayoría arena con cantos rodados desaparecerá por completo una vez terminada la presa, pues la velocidad en el embalse para las crecidas extraordinarias será estando el embalse lleno ya en el Rincón de Castro (km 450) inferior a 0,5 m/seg. No pueden hacerse indicaciones numéricas de la cantidad de materiales arrastrados anualmente por el Río Negro, pero puede suponerse con seguridad, que estas cantidades son, en proporción al volumen enorme del embalse, tan insignificantes que prácticamente jamas reducirán el volumen útil del embálse. Los materiales se depositarán, principalmente, en la parte superior del embalse y en los valles laterales que en él desembocan.

Hasta la represa propiamente dicha llegarán , a lo sumo, los materiales más finos arrastrados por las crecidas del río. El volumen útil del embalse no será disminuido por estos materiales que pasarán por las turbinas sin ocasionarles ningún perjuicio.

Composición química del agua del río.

En el sentido químico, las aguas del río son blandas y de reacción neutra, tal vez con indicios de ácido de humus durante los niveles bajos.

B.) Descripción de las obras.

I.) El embalse.

El embalse de la presa proyectada en Rincón del Bonete tendrá dimensiones extraordinarias. A pesar de la altura del dique relativamente reducida (unos 40 metros) el remanso , a causa de la poca pendiente del río, se hace notar sobre más ó menos 140 km medidos por el eje del lago, es decir más allá de la desembocadura del Río Tacuarembó. El ancho del embalse es considerable, a causa de los extensos valles laterales, y sobrepasa en diferentes sitios los 30 km. La superficie del lago es, por lo tanto, extraordinariamente grande; para un nivel normal de + 83,0 abarca 1 400 km^2; aun al descender el embalse hasta la cota de + 71,5 queda la superficie considerable de 650 km^2. Con esta extension extraordinaria el embalse supera en mucho todas las presas existentes; en volumen es superado únicamente por la presa Hoover.

El volumen del embalse proyectado en Bonete es de 15 km^3 (15 mil millones de metros cúbicos) para un nivel normal de + 83,0 m, por consiguiente, 7,5 % mayor que el caudal medio anual del Río Negro en Rincón del Bonete. Como nunca se llega a vaciar completamente el embalse por razones de una explotación económica, es natural que nunca puede aprovecharse completamente este volumen. Para la cota + 71,5 siempre queda en el embalse una reserva de hierro de 4 km^3, de modo que se dispone constantemente de un volumen útil de 11 km^3 , correspondientes a un 80 % del caudal medio anual (para el nivel normal definitivo de + 83,0 m).

El volumen del embalse es 3,6 km^3 menor, es decir, de 11,3 km^3 brutos para el nivel normal de + 80,0, previsto para la primera etapa. El volumen útil es, entonces, de 7,4 km^3, correspondientes a un 53 % del caudal medio anual. Por encima del nivel normal existe aún un volumen regulador de crecidas que alcanza, para la segunda etapa, a la cota de + 85,4 .El volumen total hasta esta cota es de unos 19 km^3.

El volumen extraordinario del embalse permite compensar las fluctuaciones del Río Negro, de manera que pueden

satisfacerse todas las exigencias de demanda de energía y agua. También las sequías extraordinarias que se presentan con intérvalos de varios años y duran más de un año pueden vencerse sin dificultad por el embalse. Por otra parte, basta el volumen regulador de crecidas para limitar también las mayores crecidas a esperar hasta el punto de que los daños qué producen las crecidas resultan sólo en casos excepcionales y son de pequeña importancia.

La superficie que ocupará el embalse está casi completamente despoblado. Excepción a esta regla hacen únicamente los pueblos Cardozo y San Gregorio. Este último se encuentra casí completamente en la margen del embalse puesto que queda por encima de la cota + 86,0. Unicamente muy pocas casas habitadas y galpones de importancia secundaria quedan dentro del volumen regulador de crecidas del embalse y están expuestas así a la inundación en casos excepcionales cuando crecidas muy grandes encuentran un embalse lleno. El resto de San Gregorio queda fuera de las aguas del embalse en una especie de península. Unicamente el nivel de la carretera de acceso tiene que elevarse un poco.

Por el contrario, casi todos los edificions de Cardozo se han de inundar puesto que la curva de nivel + 86,0 envuelve casi completamente el pueblo, como lo muestra el levantamiento topográfico. Por eso no puede evitarse un desplazamiento del pueblo para la segunda etapa, y ya durante la primera deberá procederse a un desplazamiento parcial a causa de la pérdida de tierra cultivada.

Por lo demás, bien puede pretenderse que las condiciones para la creación de un lago tan grande son propicias, pues los terrenos inundados son de reducido valor ó en parte no aprovechables.

Como se dijo ya en el inciso "Bases meteorológicas e hidrográficas", se satisfacen ampliamente las exigencias que deben establecerse para tal embalse desde el punto de vista de la impermeabilidad. Las pérdidas de infiltración , calculadas a base de los datos disponibles quedan dentro de los límites económicos de la obra.

Lo dicho también tiene validez, demostrada por los estudios minuciosos, para las pérdidas que producirá la fuerte

evaporación del agua en la superficie del embalse.

Las influencias climatológicas que se producirán alrededor del lago a causa del aumento considerable de la evaporación serán probablemente favorables. Particularmente puede contarse con una compensación de temperaturas muy sensible, además , aumentará la frecuencia y la abundancia de las lluvias en verano lo que puede aumentar el valor de los campos que circundan el embalse.

II. La represa.

Las condiciones del subsuelo son suficiente para la construcción de la represa, como se explica en la parte 2, pero la existencia de rocas menos sólidas bajo los cimientos del dique obliga a no exagerar la carga que actúa sobre el subsuelo. El proyecto procura reducir, por consiguiente, los esfuerzos de compresión del terreno. Teniendo en cuenta este punto de vista, debe elegirse un sistema de construcción para la represe que reparte uniformemente los esfuerzos sobre la mayor base posible. El muro de gravedad no es, en este sentido, muy favorable, porque los esfuerzos de compresión crecen casi triangularmente desde el lado aguas arriba hacia el de aguas abajo. Para la etapa final (nivel normal de + 83,0), una crecida máxima y una retenida por el viento de 0,7 m, el mayor esfuerzo de compresión vertical de lado aguas abajo es de 8,67 kg/cm^2 y el esfuerzo principal máximo (inclinado) de 12,07 kg/cm^2. Mucho más favorable son, en este sentido, las condiciones para el dique de enrocamiento, que con su base ancha permite reducir el esfuerzo de compresión vertical a 3,4 kg/cm^2. No mucho menos favorable es una construcción hueca de hormigón con contrafuertes y una carpeta de cabezas redondas macizas (sistema Noetzli. Esta puede ejecutarse de modo que la repartición de los esfuerzos de compresión estén repartidos casi uniformemente en toda la fundación . Para esta solución basta un esfuerzo de compresión máximo de 4,0 kg/cm^2 y un esfuerzo principal máximo

inclinado de 6,15 kg/cm^2 a los cuales puede exponerse sin miedo el subsuelo existente. Como los gastos para el muro de gravedad son, relativamente, los más altos, no hay motivo que obligue a estudiar esta construcción, también desfavorable desde el punto de vista estático. Los gastos exigidos por las otras dos soluciones no difieren mucho. De las ofertas de estas dos variantes se podrá deducir, probablemente, que la presa de cabezas redondas es algo más barata. Desde el punto de vista constructivo, la presa de cabezas redondas ofrece la ventaja de que los materiales de construcción con toda seguridad podrán obtenerse en el lugar de la obra, lo que no puede pronosticarse con la misma certeza para las piedras de gran tamaño requeridas por el dique de enrocamiento.

La presa de cabeza redonda ofrece también ventajas para la ejecución, porque no sufre tanto durante la inundación de la zanja de fundación y el desagüe se facilita a través de la presa. La presa ofrece, por último, ventajas para el equipo mecánico, debido a que puede reducirse el largo de los tubos de presión de 80 m a 46 , de acuerdo con el menor ancho de la base; así se reducen las exigencias establecidas por el momento de giro aplicado al generador. Esto es de desear, porque la aplicación al generador de las masas de volante, requeridas por el largo de la tubería de 80 metros, es bastante difícil.

Para la fundación de la presa tiene que retirase,por de pronto, la capa de tierra vegetal y la capa superior de rocas alteradas; del estado de la superficie de fundación encontrada dependerán todas las medidas a tomarse. Si se encontraran ciertas capas de rocas que no pueden exponerse a los esfuerzos arriba mencionados de 4,0 (6,16) ó 3,4 kg/cm^2 deberán excavarse ó solidificarse artificialmente estas capas hasta una profundidad suficiente. Para esto se han previsto inyecciones de cemento ó inyecciones combinadas de cemento y medios de consolidación químicos. Los mismos métodos de inyección se han previsto para impermeabilizar el subsuelo contra filtraciones del agua desde el embalse hacia aguas abajo. Las inyecciones se han de efectuar del lado aguas arriba de la presa. Por medio de una serie de perforaciones de inyección , se forma en el subsuelo una cortina impermeable que alcanzá hasta las capas de rocas indudablemente buena. La profundidad de estas inyecciones

se ha limitado en el proyecto, de acuerdo con los resultados ofrecidos por las investigaciones geológicas. La profundidad de inyección definitiva podrá fijarse únicamente a base de los resultados obtenidos por las primeras inyecciones.

La construcción del dique de enrocamiento(variante II), se ha proyectado a base de la última experiencia hecha con diques de esta clase. A una altura de 38 m para la primera etapa corresponde un ancho de base de unos 105 m. La pendiente del talud es 1 : 1,3; en la parte inferior aguas abajo de 1 : 1,4 y en el pie hasta 1 : 2,5. A la altura del nivel normal, el ancho del dique es de 16 m y a la del nivel máximo superior de 8,40 m.

El cuerpo principal del dique se compone de enrocamiento vertido. El enrocamiento termine en el pie aguas abajo,por una mampostería formada por la superposición de piedras grandes bien arregladas en el paramento, a fin de defender el dique contra la socavación. Todo el talud está protegido, del lado aguas abajo, por medio de un empedrado grosero. Del lado aguas arriba, se impermeabiliza por medio de una carpeta de hormigón que arranca del muro de guardia. Las juntas de dilatación indispensables de esta placa de hormigón están cerradas por medio de chapas de cobre y rellena de bitumen. El asiento de esta placa de hormigón es formado , del lado aguas arriba del enrocamiento, por un muro en seco resistente de piedras voluminosas, cuya capa superior está constituída por un empedrado de rocas particularmente grandes, con lo cual se evitan los efectos desfavorables de un asentamiento irregular del dique, como se ha observado ya prácticamente. La parte que queda por encima del nivel máximo superior esta formada por una mampostería en seco a fin de no ensanchar aún más el ancho inferior del dique. Para la observación de la impermeabilidad del dique y de la cortina de inyección se ha previsto en la fundación una galería de inspección , desde el cual parten perforaciones con tubos de acero que permiten observar la presión de las aguas subterráneas. Desde aquí puede permeabilizarse también más tarde por inyección , si las observaciones indicaran una filtración importante, lo cual parece, sin embargo, casi imposible.

La presa propiamente dicha tiene un largo de 2 085 m inclusive el vertedero en la margen izquierda . Además , se necesitan aún algunos pequeños diques laterales para obtener la altura necesaria en ciertas partes más bajas de las cuchillas que contorna el embalse. Estos diques laterales se construirán de mampostería en seco con una delgada carpeta de hormigón , ó como otra variante de masas alteradas vertidas con núcleo de hormigón.

La variante I (dique a contrafuertes) recibe una fundación y consolidación del terreno idéntica a la del dique de enrocamiento. Las superficies entre las cabezas redondas seccionan la obra en secciones de 12,50 m de ancho, cada una. Las juntas se cierran con chapas de cobre, como se lo indicó para la placa de hormigón del dique de enrocamiento. El extremo superior del embalse lo forman las cabezas redondas que, por su forma, transmiten la presión del agua centricamente sobre los contrafuertes. Los contrafuertes descansan encima de una placa de hormigón armado que transmite la carga casi uniformemente repartida sobre el subsuelo. Pudo prescindirse esta vez de una galería de revisión subterránea; en substitución, se ha previsto una pasarela de revisión , hasta las cuales llegan los tubos introducidos en el subsuelo, parecidos a los previstos para el dique de enrocamiento.

III. El vertedero.

El vertedero es una parte particularmente importante de la presa, puesto que el caudal del río puede alcanzar la cantidad extraordinaria de 9 000 m^3/seg.,aunque en realidad ocurrirá muy raras veces. No existen observaciones exactas acerca de las crecidas extraordinarias del Río Negro. Sin embargo, declaraciones de algunos vecinos sobre las grandes inundaciones en puntos característicos, permiten ciertas conclusiones sobre el caudal máximo. La forma de la crecida, deducida de crecidas registradas con un pico máximo de 5 000 m^3/seg. y más aun,estaba prescrita en las "Bases 1929".

La economía del proyecto exigió una compensación entre las dimensiones del vertedero y el volumen regulador de crecidas. Cuanto menor sea la capacidad del vertedero tanto mayor debe ser el volumen regulador de crecidas y la altura del dique; por el contrario, a un volumen regulador de crecidas pequeño corresponde una capacidad de vertedero grande. La capacidad más económica del vertedero se calculó para un nivel normal de + 80,0 en 4 450 m^3/seg, al comenzar la crecida. El nivel del embalse sube entonces hasta + 82,8 m. Las investigaciones hechas sobre los cierres del vertedero demostraron a la vez que, si se incluyen los gastos ocasionados por los contrafuertes, los cierres de ancho medio son los más ventajosos. Se impuso como solución más económica dividir la abertura total del vertedero en 12 aberturas de 10,50 m de ancho interior, cada una, a cerrar por medio de compuertas de 5 m de altura. En vista del margen necesario entre nivel normal y borde superior del cierre por el efecto del viento se colocó este borde un metro por encima del nivel normal y, por lo tanto, el borde inferior del cierre, es decir, la cresta del vertedero a 4 m por debajo del nivel normal. Para la primera etapa es ésta la cota + 76,0 m. Para la segunda etapa se ha previsto una elevación de esta cresta en 3 m hasta la cota + 79,0 m, tanto para el dique de enrocamiento como a contrafuertes.

La forma de los cierres debe ser diferente para el dique de enrocamiento y el de contrafuertes. Para el dique de contrafuertes los cierres se han construido como compuertas a rodillos adaptandose a la forma de los contrafuertes. Fué posible disponer las compuertas de tal modo que quedaran en el mismo plano al aumentarse posteriormente el nivel normal hasta + 83,0 m. Por este motivo, las partes de los contrafuertes en que se instalan los guinches de las compuertas se elevarán desde un principio hasta la cota + 87,1 , porque los gastos no son mucho mayores que para la menor altura admisible de la primera etapa. De este modo se evita la reinstalación de los guinches al aumentar la altura de la represa, y solamente la cresta del vertedero tendrá que elevarse un poco.

Como mejor solución para la variante II (dique de enrocamiento) se obtuvo la construcción de los cierres como com-

puertas de segmento. También en este caso pudo elegirse una disposición que no modifica la posición de los segmentos ni sus ejes al aumentarse el nivel. Unicamente tiene que elevarse y desplazarse un poco lateralmente los guinches y la pasarela de servicio, trabajos que se ejecutan sin grandes gastos.

Para la variante II (dique de enrocamiento) está prevista una pasarela de servicio independiente de la construcción de la carretera proyectada. La pasarela independiente es requerida por esta solución para el guinche corredizo que corre de una abertura a otra para elevar un segmento tras del otro por medio de una barra y un dispositivo de enganche.

Para la variante I, (dique de contrafuertes) se hizo abstracción de un guinche corredizo y se eligió un accionamiento de grupos que actua cada vez simultáneamente sobre 6 compuertas y, colocando los dos guinches requeridos encima de los contrafuertes laterales. La fuerza para la maniobra se transmite a las diferentes aberturas por medio de un eje continuo que puede apoyarse en el puente carretero una vez que se haya construído. Si no se construye, tiene que ejecutarse la pasarela de servicio en la que se ha de apoyar, entonces, el eje mencionado. Esta disposición preve el accionamiento simultáneo de cada grupo de 6 compuertas por su motor, de manera que el funcionamiento de los dos motores de elevación puede abrir simultáneamente todo el ancho de abertura del vertedero.

En vista a la enorme superficie del embalse siempre se dispone de suficiente tiempo para abrir un suficiente número de aberturas aún cuando las compuertas dispusieran de accionamiento individual.

Para la variante I (dique a contrafuertes) se ha previsto el vertedero inmediatemente al costado de la casa de máquinas, para que así el agua sea vertida directamente al cauce del río.

La forma de la placa de vertedero y del lecho amortiguador se ha determinado por ensayos a modelos, asegurando así que las cantidades considerables de agua se viertan aguas abajo y sean derivadas sin peligro ninguno. El vertedero para el dique de enrocamiento (variante II) no puede preverse en un sitio de mucha altura del dique y, por consiguiente, en el cauce del río. Los estudios comparativos sobre diferentes ubica-

ciones del vertedero en las márgenes, derecha e izquierda, permitieron encontrar la solución más favorable en la margen izquierda afuera del dique propiamente dicho. El vertedero será excavado allí completamente en la roca. Las aguas vertidas se dirigen en este caso a un canal abierto también en roca que desemboca en un bajo formado por el cauce natural de un arroyo.

Se prescindió de la instalación de cierras de emergencia delante de las compuertas, porque durante la explotación del embalse puede contarse durante largos períodos con niveles inferiores a la cresta del vertedero que permitirán la ejecución de trabajos de reparaciones en las compuertas completamente en seco . Por el mismo motivo pudieron instalarse los puntos de rotación de los segmentos para la variante dos dentro del alcance de las crecidas.

IV) La usina.

La usina se instala en la margen derecha dentro del cauce del río de modo que el dique se apoye aún con su pie contra ella. Por motivos económicos y constructivos se rechazó la ubicación de la usina en la margen izquierda, solución que se había examinado al principio. La usina que contendrá en la etapa final 4 máquinas se ejecutará desde un principio por sus cimientos y la sala de máquinas con las dimensiones definitivas. Solamente la instalación de las espirales y de las demás partes restantes de las máquinas quedará para la etapa futura. Para obtener durante la primera etapa una sala de máquinas cerrada, será separada la parte terminada con las máquinas 1 y 2 por medio de un tabique intermedio hasta el techo. Al lado de la sala de máquinas se encuentra una sala disponible para depositar y montar las máquinas del cual se pasa directamente a la casa de distribución que forma un anexo a la casa de máquinas. Otro anexo del edificio hacia el pie del dique contiene al grupo Diesel que garantiza el suministro del consumo propio de la usina.

La casa de máquinas está protegida contra inundaciones por elevados niveles aguas abajo mediante una impermeabilización especial que permitió instalar el generador por debajo de los niveles más altos.

La superestructura de la usina se ha proyectado con estructura metálica revestida con piedras naturales de las canteras de la obra. No debe prescindirse de todo embellecimiento arquitectónico de la usina, pues representa algo como el corazón de la obra y bien merece, por consiguiente, que se le dé el aspecto monumental correspondiente.

En la casa de comando, adosada a la sala de máquinas se ha instalado el equipo eléctrico de la instalación de 6 kV y del consumo propio, además el puesto central de comando. Todas las demás partes de la instalación de distribución se han montado al aire libre.

La estación transformadora de 170 kV se ha montado al aire libre sobre una plataforma excavada parcialmente en la pendiente de la margen derecha. La estructura metálica para las barras colectoras y los conductores demuestra una construcción razonable y sencilla. Entre la estación transformadora y la casa de distribución existe aún suficiente sitio para la instalación al aire libre de 60 kV, que se erigirá más tarde, puesto que el abastecimineto de la parte Norte del país partirá de aquí. Allí se instalan también las dos resistencias hidráulicas que se precisan para ensayos y para disipar la energía cuando se deja pasar el agua por las turbinas sin la demanda correspondiente de corriente eléctrica.

Tanto la casa de máquinas como la estación transformadora tienen empalme ferroviario directo para que los aparatos y las piezas pesadas puedan transportarse hasta debajo de las grúas por una vía de trocha normal. La línea ferrea de empalme Paso de los Toros - Rincón del Bonete, que garantiza una comunicación segura de suficiente resistencia, es de suma importancia para reparaciones y recambios en la usina. Será, pues, necesario mantener esta línea de empalme una vez terminada la construcción de la usina.

V.) Las instalaciones para la navegación .

La creación del gran embalse que regula el caudal del Río Negro inferior creará también las condiciones técnicas para una navegación, casi continua, desde Mercedes hasta San Gregorio y aún más arriba. Tuvieron, pues, que preverse instalaciones especiales que permitieran a la navegación vencer el salto. Los estudios de este problema dieron como única solución técnica y económica irreprochable la construcción de dos esclusas. Tanto para un dique de enrocamiento como de contrafuertes la esclusa será ubicada en la margen izquierda, pues allí existen las condiciones más propicias para ello. Las esclusas no deben construirse al mismo tiempo que las demás obras. Se se tuviera que contar con una navegación importante desde el primer momento de la construcción de la presa, bien sería ventajoso construir, al menos, la cabeza superior de la esclusa y la parte de la cámara que queda dentro de la obra y montar la compuerta superior, bajo cuya protección puede ejecutarse más tarde el resto de la esclusa. Las compuertas de la esclusa podrían substituirse por un cierre de emergencia , para cuyo caso el proyecto preve los nichos necesarios.

Para una navegación menos desarrollada bastaría el camino de comunicación, previsto en el proyecto como solución provisoria, que facilita un transbordo de las cargas en la entrada y la salida de la vuelta del río.

Podrá empliarse más tarde sin la menor dificultad la esclusa según las exigencias de las "Bases de 1929" para un remolcador y dos chatas. Por de pronto está proyectada con 80 m de largo.

VI.) La transmisión de la energía eléctrica a Montevideo.

En la margen derecha algo aguas abajo de la casa de máquinas se encuentran instalada en una plataforma preparada con este objeto la estación transformadora de 170 kV, de la cual sale la línea principal para Montevideo y la de 63 kV para la parte Norte de la Red Nacional. Estas estaciones se gobiernan desde el puesto de comando en la casa de distribución, que es un anexo a la casa de máquinas y que contiene también los aparatos de conexión para las tensiones auxiliares. En la estación de 170 kV se encuentran, por de pronto, dos transformadores principales (de 32 MVA, cada uno). Cada transformador está acoplado directamente con un grupo principal de máquinas y transforma la potencia generada a la tensión de transmisión a larga distancia. Toda la energía para el consumo propio de la usina y la alimentación futura de la Red Nacional no se toma directamente del generador, sino de un tercer arrollamiento de los transformadores principales, dimensionado únicamente para la tercera parte de la potencia del transformador (10 MVA). Por medio de esta disposición se reducen considerablemente las corrientes de corto-circuito producidos por averías y se reduce también el tamaño de los interruptores para las instalaciones secundarias. Junto a la estacion transformadora está dispuesta la resistencia hidráulica (una doble cámara de agua) que sirve para cargar arbitrariamente los generadores permitiendo así mandar agua al curso inferior del Río Negro aún cuando, por un motivo cualquier, no se puede utilizar la energía eléctrica.

La comunicación con el consumidor principal, la ciudad de Montevideo, se establece, por de pronto, por una línea de transmisión sencilla capaz de transmitir la potencia de los dos grupos de máquinas principales. La línea se compone de 3 conductores huecos de cobre de 23 mm de diámetro exterior y 150 mm^2 de sección. Dichos conductores van suspendidos en mástiles de acero en forma de pórtico a cada 300 m normalmente. Para obtener la mayor seguridad mecánica y, al mismo tiempo, una disposición ventajosa de dos cables de puesta a tierra, se ha elegido la forma de los mástiles por la cual los tres conductores se encuentran dentro del pórtico. Una buene puesta a tierra, concebida según las condiciones del terreno en forma de plancha

de tierra, pueste a tierra superficial ó cable de tierra continuo, ofrecen una excelente protección contra los rayos para los dos cables de tierra, colocados encima de los conductores y algo desviados. La línea de transmisión parte de Rincón del Bonete en dirección casi Sur, pasa por Durazno, donde se ha previsto una estación transformadora para la alimentación de la Red Nacional, y sigue, luego, casi siempre la línea ferrea hasta en las cercanías de Montevideo. Para la segunda etapa, es decir, al montarse el tercer grupo de máquinas en la usina de Rincón del Bonete, deberá instalarse también la segunda línea de transmisión colocada más al Este, a una distancia de 100 a 200 m de la primera, pero, por lo demás, proyectada paralelamente a ésta.

Tal transmisión sobre dos líneas completamente independientes ofrece grandes ventajas frente a una doble línea sobre mástiles comunos, particularmente por la seguridad contra los rayos. Pues, mientras la suspensión en un mismo mástil permite al rayo perturbar toda la transmisión de energía, esto nunca sería posible con la disposición prevista. De este modo, la transmisión de energía de la segunda etapa aumenta considerablemente la seguridad de servicio.

La línea de transmisión se conduce en Montevideo hasta la usina térmica con mástiles de casi la misma forma que en el tramo rural. Para suprimir todo peligro para los habitantes por caída de un conductor, se han tomado para los últimos 10 km que pasan sobre la ciudad de Montevideo medidas especiales de seguridad. La distancia entre los mástiles se reduce a 100 y 200 m, además , se emplean cadenas de aisladores dobles y triples y para los cables y mástiles se aumenta la seguridad mecánica. En vista de que la línea pasa por una zona de la ciudad, en la cual no se eregirán edificios altos y donde hay muchos jardines y parques, el trazado y la construcción descrita de la línea no ofrece inconvenientes. También en otras partes atraviesan tales líneas las ciudades. Por ejemplo, Berlín dispone de una línea de transmisión de 100 kV que desde 1921 atraviesa zonas muy pobladas, y recién últimamente se ha colocado una línea de 200 kV en los suburbios de la ciudad de Francfurt am Main. Será bueno colocar la segunda línea separadamente de la primera también dentro de la ciudad. Si resultará imposible por motivos prácticos, podrían colocarse las dos

líneas sobre mástiles comunes dentro de la ciudad. Junto a la usina térmica se erige una estación al aire libre que reduce la tensión de la corriente recibida de Río Negro a 33 kV, a fin de alimentar con ella la nueva red de cables urbanos. Pero también la usina térmica ha de entregar energía a esta red urbana, de modo que también para ésta habrá que elegir una disposición adecuada. Para ello se instalan tres transformadores de tres arrolamientos, como las emplean diferentes usinas modernas, en la instalación de distribución al aire libre. El arrollamiento de alta tensión está conectado con la línea de transmisión y recibe la energía de la usina hidráulica, el arrollamiento de baja tensión (6,3 kV) es alimentado por los turbogeneradores de la usina térmica. Las dos potencias son entregadas a la red de 33 kV por el tercer arrollamiento dimensionado en su potencia (60 MVA) de modo a dar paso a toda la energía suministrada simultáneamente por un grupo de máquinas de la usina hidráulica de Rincón del Bonete y una de las nuevas turbinas de la usina térmica.

Para crear condiciones favorables de regulación e impedir una corriente de corto-circuito excesiva en la instalación de distribución de 6,3 kV existente, se separa la conexión actual entre los turbogeneradores de 31,5 MVA y las barras colectoras de 6,3 kV y se conecta con el tercer arrollamiento de los transformadores nuevos. Un tercer transformador sirve, principalmente, de reserva, a fin de no comprometer el abastecimiento de la ciudad por falta de potencia al averiarse uno de los transformadores nuevos .

La instalación de distribución para la red urbana de 33 kV se monta juntó a la instalación de distribución de 150 kV igualmente al aire libre. Para el mando y el control tiene que preverse un nuevo puesto de comando. Si los edificios existentes no ofrecen bastante sitio bien puede estudiarse su ubicación junto al puesto de comando existente, de lo contrario, es necesario erigir una nueva casa de comando como la prevé el proyecto. Se han elegido en Montevideo transformadores de tres arrollamientos ante todo para obtener un acoplamiento rígido de las usinas de Rincón del Bonete y de Montevideo para la marcha en paralelo. De este modo entre las dos

usinas se encuentran únicamente dos transformadores conectados en serie. Perturbaciones en el lado de 33 kV que siempre pueden producirse en la red de distribución, afectarán muy poco la marcha en paralelo pues solamente se repercutan sobre el tercer arrollamiento mientras en efecto sobre los otros dos arrollamientos queda amortiguado por la disposición del transformador.

La tensión de transmisión se eligió tal para poder transmitir bien la potencia máxima de unos 60 MVA de las dos primeras máquinas de Bonete. La tensión de entrega de 150 kV exigida en Montevideo corresponde a una tensión inicial de unos 170 kV en Bonete, cuando las máquinas trabajan bajo plena carga. Entonces la línea está bien aprovechada, tanto respecto a las pérdidas de transmisión como a la potencia transmisible. Más detalles sobre este asunto se encuentran en la memoria informativa de la parte 7.

En caso de marcha en vacío ó con poca carga, la línea de transmisión requiere una considerable potencia de carga que se compensa por medio de bobinas de compensación , instaladas en la usina hidráulica de Bonete y en la usina térmica de Montevideo. Para disminuir el aumento de tensión , debido a descargas instantáneas de la línea, se prevé un dispositivo que desconecta las bobinas automáticamente en caso de necesidad. El punto neutro de la línea no está puesto a tierra directamente por los transformadores, sino por intermedio de una bobina de puesta a tierra. En caso de un contacto defectuoso a tierra, la bobina produce una corriente inductiva de puesta a tierra que compensa la corriente capacitiva. De este modo se reduce la intensidad de corriente en el punto de accidente y se favorece la ruptura del arco producido. Esta disposición es muy usual en Europa y se emplea en proporciones cada vez mayores en todas partes.

Toda derivación está equipada con una impedancia de protección rápida para desconectar la línea de transmisión debida y rápidamente en caso de averías. Esta impedancia es particularmente importante para la etapa futura, para que, en caso de fallas, una de las dos líneas se desconecte tan rápidamente que sobre la otra pueda continuar sin interrupción el servicio. Esta protección se dimensionará de modo que reaccione

Los cálculos definitivos, hechos al terminar los trabajos del proyecto, han mostrado que la Red Nacional, según el proyecto que sirvió de base, resulta ser muy económica para el suministro de una energía anual entre 20 y 30 Mio kWh, pero que, para la carga correspondiente, la pérdida de tensión resulta ya considerablemente alta.

Como suplemento se proyectará una variante para el proyecto de la Red Nacional con el fin de obtener un aumento de capacidad y de elasticidad en la red, correspondiendo así mejor a las condiciones que deben probablemente esperarse.

solamente si fallan los dispositivos de desconexión previstos en la red de distribución.

VII.) La Red Nacional

Para distribuir la energía hidro-eléctrica, no solamente en Montevedeo, sino en todo el territorio de la República, se construye una amplia red de distribución llamada "Red Nacional". Generalmente empléanse líneas de 30 kV, suficientes en la mayor parte de los casos.

Para abastecer en la dirección de Este a Oeste sin tensiones mas altas fué necesario colocar una línea de 60 kV del Norte al Sur, casi paralela a la línea de 150 kV; esta línea de 60 kV forma la base de la Red Nacional. Además se ha proyectado una línea de 60 kV de Montevideo a Rocha y otra en el Norte del país. El trazado de la red considera la posibilidad de alimentación alternativa por un sistema anular. Esto no sólo ofrece una mayor seguridad de servicio sino una mejor compensación de la energía en los diferentes trozos de la línea. Para el abastecimeinto simultáneo de varios abonados desde un punto se emplean ocasionalmente líneas de 15 kV.

Para la alimentación de la Red Nacional se proponen tres estaciones. La primera se encuentra en la periferie de Montevideo y se alimenta por la red de cables de 33 kV de la ciudad. Transformadores reguladores se encargan de independizar la tensión de las fluctuaciones de la red urbana. Para economizar personal e vigilancia, esta estación prevé un servicio completamente automático. El segundo y más importante punto de alimentación para la Red Nacional lo forma la estación de Durazno. Allí se deriva energía de la línea de 150 kV, mediante un transformador de tres arrollamientos, y se distribuye en la red de 60 y 30 kV. Más tarde se instala aún (junto a la usina de Bonete) una estación de 63 kV, prevista para el abastecimiento Norte de la Red Nacional. Por razones económicas no se construirá toda la Red Nacional de una vez sino por etapas. La primera etapa comprende el Sur y Oeste del país y permite pronosticar en relativamente poco tiempo una explotación económica. Una vez que esta parte resulte rentable, por el abastecimiento de un número suficiente de abonados, se comienza la segunda

etapa que debe considerarse desde un principio como una instalación qué contribuye al desarrollo del país y vendirá ventajas inmediatas recién en un futuro lejano.

Las líneas de 30 y 60 kV están puestas a tierra en su punto neutro mediante bobinas de reacción , en igual forma como la línea de transmisión principal. Las bobinas están colocadas en diferentes puntos de la Red Nacional para producir siempre una buena compensación al desconectarse un trozo de línea cualquiera. La potencia de carga de la red se compensa como la de la línea principal, en parte, por las bobinas de ésta, en parte, por la máquinas de Bonete y de Montevideo. Las diferentes trozos están equipados con protección a distancia que produce la desconexión selectiva de trozos averíados localizando en lo posible el desperfecto. Para facilitar esto es de gran importancia la alimentación anular prevista.

Las líneas de 60 kV se colocan sobre postes de acero con cadenas de 4 aisladores. Un cable de puesta a tierra colocado en la punta de los postes ofrece suficiente seguridad. Los postes de las líneas de 30 kV son de madera, salvo los de amarre y los especiales que son de acero. Para estas líneas no se ha previsto un cable de puesta a tierra. Las líneas de 15 kV se colocan sobre postes de madera con soportes de acero para los aisladores en forma de lira.

Todas las estaciones de la Red Nacional con excepción de Durazno y Bonete son construídas de modo que no requieren personal ninguno para su funcionamiento. Las estaciones mayores son de construcción sencilla y se instalan al aire libre, mientras los transformadores menores , hasta de 100 kVA, están montados sobre postes. El equipo está simplificado hasta el punto que lo permite la seguridad de servicio. Por eso, las estaciones sobre postes no reciben protección contra altas tensiones, sino los transformadores se conectan con la línea de alimentación por medio de fusibles de alte tensión . De este modo, con gastos soportables pueden instalarse estaciones hasta de 10 kVA para las líneas de 60 kV.

C. Economía de agua y de energía.

I.) Principios del régimen de explotación .

La usina del Río Negro tendrá que trabajar junto con la usina térmica en Montevideo.

En este servicio mixto la usina hidroeléctrica tendrá que suministrar generalmente la mayor parte de la energía requerida, mientras que la usina térmica tendrá que cubrir solamente los picos de carga. En esta forma habrá que trabajar no sólo en los períodos de caudales suficientes sino también cuando el embalse está suficientemente lleno.

Por el contrario, si se produce , en el transcurso de una sequía más ó menos larga, un tal deficit de agua que no se puede continuar este servicio normal, habrá que cambiar el régimen de servicio en tal forma que la usina térmica suministre la energía de base, mientras que la usina en el Río Negro trabaje sólo en las pocas horas de los picos de carga.

La magnitud del embalse permitirá limitar la duración de este servicio deficitario a un mínimo. Esta forma de servicio se empleará casi únicamente en las sequías extraordinarias que son un fenómeno bien característico para el clima del país. En los meses secos de los años normales será posible, en general, mantenerse el servicio en el Río Negro, sin ninguna restricción , utilizando el embalse.

En todo caso la cooperación de la usina hidroeléctrica con la térmica ofrece la ventaja de poderse siempre contar con la potencia instalada en ambos usinas.

La energía a generar térmicamente en períodos de déficit de agua puede producirse de manera muy económica, pues en la forma de servicio a emplear en tal caso las máquinas de vapor trabajarán continuamente y no tendrán que generar la energía de picos.

II.) Las potencias en las diferentes etapas y la energía hidráulica disponible.

Se deduce de lo ya explicado que la suma de las potencias disponibles en el Río Negro y en Montevideo es la base para la determinación del consumo de energía anual que puede cubrirse en las diferentes etapas de la obra. Para fijar numéricamente estos límites del consumo anual hay que tener en cuenta dos factores: ó sea la relación entre el consumo anual de energía y la carga máxima, y la potencia que se desea tener de reserva.

Consideraciones cuidadosas sobre estos factores han demostrado que en las diferentes etapas de la obra Río Negro se puede cubrir el consumo de energía sin dificultad hasta los valores siguientes:

Etapa I	(2 máquinas, nivel normal 80,0)	390	Mio kWh
" IIa	(3 " " " ")	465	"
" IIb	(4 " " " ")	530	"

Estas etapas del consumo de energía se pueden cubrir en las etapas respectivas de la obra no sólo con bastante seguridad, sino también con el régimen de explotación más económico.

Modificando la forma de servicio es posible aumentar estas cifras. Tal modificación consiste principalmente en explotar el embalse en forma tal que resulte garantida una mayor potencia en vez de una mayor cantidad de energía hidráulica. Entonces, aumentando la potencia garantida, puede cubrirse con la misma instalación un consumo de energía algo mayor. Sin duda esta ganancia de potencia garantizada se paga por desventajas económicas, ya que se producirá una disminución de la energía hidráulica que deberá resarcirse térmicamente.

Se puede aumentar aún más estos valores, si se desiste de la reserva de potencia. Naturalmente, una tal renuncia es inadmisible en condiciones normales, pero por excepción, por ejemplo en el caso de disturbios internacionales, se podría recurrir a tal medida, si impedimentos mayores obligarán a retardar la ampliación del equipo.

Los valores dados de 390, 465 y 530 Mio kWh significan el consumo total de la red. Para cubrir estos consumos, la energía hidráulica generada participa en forma preponderante. Hasta un consumo de 530 Mio kWh el 90 % aproximadamente es cubierto por la energía hidráulica así que solamente el 10% restante son a generar con vapor. A medida que crece aún más el consumo total, se acerca la cantidad de energía hidráulica a utilizar, poco a poco hacia un valor límite superior que está determinado por el caudal del Río Negro, la caída y la capacidad del embalse. Este valor límite superior, medio anual del máximo de la energía hidráulica a ganar, es para nivel normal a la cota 80,0, y para 4 máquinas, aproximadamente 530 Mio kWh por año, mientras que este máximo para nivel normal a la cota 83,0 es de 630 Mio kWh por año.[1)]

Elevando el nivel normal de la cota 80,0 a la cota 83,0 se aumenta el máximo de energía hidráulica a ganar en 100 Mio kWh por año. Este aumento se debe principalmente a el aumento de la capacidad del embalse, lo que permite un mejor aprovechamiento del caudal anual. El aumento de la caída sólo juega un rol secundario. Aumentando el nivel normal podemos evidentemente aumentar el valor de la potencia garantida, y, en consecuencia, aumentar un poco el valor del consumo que se puede cubrir con la usina del Río Negro (4 máquinas) y la planta térmica actual. El límite del consumo a cubrir sin ampliar el equipo se podría aumentar de 530 Mio kWh a unos 550 ó 560 Mio kWh por año sin desventajas económicas, puesto que con un mayor embalse es más fácil modificar la forma de explotación en el modo indicado anteriormente.

Todas las cifras mencionadas se refieren al lado de 33 kV de los transformadores en Montevideo y por lo tanto están deducidas las pérdidas de transmisión y transformación.

---

1) Hagamos notar que el haberse obtenido para el valor máximo teórico de energía hidráulica a ganar (530 Mio kWh por año) el mismo valor que él del consumo que se puede cubrir en la segunda etapa es sólo un hecho casual. Ambos valores no guardan entre ellos ninguna relación .

III.) Regulación del río.

El gran embalse proyectado en el Rincón del Bonete efectuará una gran regularización del caudal del Río Negro. En tal forma se disminuirán las crecidas y se acortarán los períodos de estiaje.

La reducción de las crecidas tendrá en el futuro una gran importancia puesto que facilitará enormemente la construcción de puentes u otras obras aguas abajo de la represa. Una vez construido el dique los caudales máximos aguas abajo no alcanzarán a la mitad de los actuales. Esto vale no solamente para la parte situada directamente aguas abajo del Rincón del Bonete sino para todo el río a partir de la obra. Las ondas de crecidas del Río Negro no solamente serán achatadas sino también desplazadas con relación al tiempo en forma tal que no se superpondrán con aquellas de los afluentes principales, como ser el Río Yí. Otra de las ventajas que se tendrá es poderse predecir con gran anterioridad el curso de una crecida, y en casos de necesidad podersele modificar, lo que es de gran importancia, puesto que, debido al caracter del río, no es nada extraordinario que el nivel del agua se eleve varios metros en el día. Para poderse apreciar en forma más ó menos aproximada el valor de estas ventajas se requieren estudios hidrográficos sobre el Río Yí y de los otros afluentes principales del Río Negro, así como también estudios de la topografía y de la naturaleza del terreno de la zona que actualmente se inunda.

En lo que se refiere a la navegación y al riego es evidente que el acortamiento de los períodos de estiaje es de gran importancia. Actualmente, durante 5 ó 6 meses en el año (por termino medio) el río lleva tan poca agua que se puede decir que no corre. Con el embalse proyectado el gasto del río en los años normales será casi completamente regularizado. Solo en aquellos años de sequía extraordinaria se presentarán niveles de estiaje extremos.

IV.) Otros efectos producidos por la retenida.

Además del efecto ya mencionado de regulación del gasto del Río Negro aguas abajo de la obra debera estudiarse también el efecto del gran embalse en sus inmediaciones. El nivel de las aguas subterráneas será elevado en extensas zonas avivando por lo tanto la vegetación de esos lugares.

Las orillas del lago a pesar de que serán extraordinariamente llanas, no darán lugar a la formación de pantanos con sus desventajas del punto de vista sanitario puesto que el nivel de las aguas oscila continuamente. Además, como casi todos los años este nivel bajará por debajo del nivel normal, las capas superiores podrán secarse.

La gran superficie del embalse tendrá - es de suponerse - un efecto beneficioso para el clima de los alrededores. Las temperaturas extremas en una ancha zona alrededor del lago serán atenuadas y, casi con toda seguridad, aumentará la frecuencia y la intensidad de las precipitaciones, sobre todo en verano. Todas este variaciones climáticas serán ventajosas para el aprovechamiento de la extensa zona influenciada por el embalse del Río Negro.

D. Sección financiera.

I.) Costos de instalación.

Los costos de instalación se dividen, del punto de la economía nacional, en tres grupos, a saber: los costos a pagarse en el país para jornales, material y transportes, los costos de las partes que como las máquinas no pueden hacerse en el país y por lo tanto hay que pagarlas en el extranjero, y finalmente los costos para la compra de los terrenos.

Los costos de la obra hidroeléctrica, incluyendo la línea de transmisión Río Negro -Montevideo y la estación de transformación en Montevideo se resumirán en las planillas siguientes , donde se incluyen también las sumas correspondientes a imprevistas, dirección de las obras e intereses durante el período de construcción.

	a pagarse en el país	a pagarse en el extranjero		suma	porcentajes
	1 000 $ o/u				
Etapa I.(Nivel normal 80,0 - 2 máquinas)					
1) Ingeniería civil	7154	3362	---	10516	38,0
2) Edificios	877	428	---	1305	4,7
3) Construcciones de acero	147	694	---	841	3,0
4) Máquinas hidráulicas	113	1266	---	1379	5,0
5) Instalaciones eléctricas	1753	5258	---	7011	25,3
6) Desviación F.C. Cardozo	326	112	---	438	1,6
7) Expropiaciones	--	--	6200	6200	22,4
Suma	10370	11120	6200	27690	100,0
%	37,4	40,2	22,4	100,0	
Etapa IIa (Nivel normal 80,0 - 3 máquinas)					
1) Ingeniería civil	7211	3406	---	10617	31,9
2) Edificios	932	439	---	1371	4,1
3) Construcciones de acero	147	694	---	841	2,5
4) Máquinas hidráulicas	173	1852	---	2025	6,1
5) Instalaciones eléctricas	3310	8486	---	11796	35,4
6) Desviación F.C. Cardozo	326	112	---	438	1,3
7) Expropiaciones	---	---	6200	6200	18,7
Suma	12099	14989	6200	33288	100,0
%	36,3	45,0	18,7	100,0	

	a pagarse en el país	extranjero		suma	porcentajes
	1 000 $ o/u				
Etapa III (Nivel normal 80,0 — 4 máquinas)					
1) Ingeniería civil	7256	3439	---	10695	30,4
2) Edificios	932	439	---	1371	3,9
3) Construcciones de acero	147	694	---	841	2,4
4) Máquinas hidráulicas	233	2438	---	2671	7,6
5) Instalaciones eléctricas	3412	9511	---	12923	36,8
6) Desviación F.C. Cardozo	326	112	---	438	1,2
7) Expropiaciones	---	---	6200	6200	17,7
Suma	12306	16633	6200	35139	100,0
%	35,0	47,3	17,7	100,0	
Etapa III (Nivel normal 83,0)					
1) Ingeniería civil	7688	3596	---	11284	29,9
2) Edificios	932	439	---	1371	3,6
3) Construcciones de acero	150	694	---	844	2,3
4) Máquinas hidráulicas	233	2438	---	2671	7,1
5) Instalaciones eléctricas	3412	9511	---	12923	34,2
6) Desviación F.C. Cardozo	326	112	---	438	1,1
7) Expropiaciones	---	---	8250	8250	21,8
Suma	12741	16790	8250	37781	100,0
%	33,7	44,4	21,9	100,0	

Los costos incluídos en las planillas anteriores para la compra de terrenos tienen en cierto sentido un signifacado ficticio. Se ha previsto expropiar los terrenos en tal forma que los propietarios reciben como indemnización no dinero en efecto sino títulos , lo que es muy lógico para el caso que trata. En esta forma no se requiere emplear ningún capital para la compra de los terrenos bastando solamente tener los medios necesarios para hacer frente a los intereses desde el momento que se hace la expropiación . Este momento casi coincidirá con él de la puesta en servicio de la usina y, pór lo tanto, se podrán cubrir los intereses con las entradas de la usina.

Se ha considerado un precio para los terrenos de $ 47,50 $u por hectarea, de acuerdo con la oficina de aforos. Además se incluye $ 150 000.- $u como indemnización para el pueblo de Cardozo. No se requiere aquí ningun aumento por intereses durante la construcción , lo que es evidente por lo dicho anteriormente. Los gastos administrativos que demandan las expropiaciones se incluyen en la parte correspondiente a la dirección de las obras.

Solo las partes designadas con " a pagarse en el país" y " a pagarse en el extranjero" se pagarán con dinero en efectivo.

Los valores de estas partes incluídos en el resumen de costos son deducidos de la calculación exacta de los diferentes posiciones de que constará el presupuesto del proyecto, salvo la parte correspondiente a la desviación del ferrocaril Cardozo, para la cual se ha tomado como base la suma de $ 360 000.- $u como se había evaluado para el anteproyecto.

La mayor parte de los costos a pagarse en el país corresponde a los salarios y sólo una pequeña parte a material y transportes. Los costos de los salarios se calcularon partiendo de la base de 32 cts por hora para peones y los otros gastos se fundaron en las tarifas existentes actualmente.

Los costos a pagarse en el extranjero fueron calculados de acuerdo con los precios reinantes en el mercado mundial y partiendo de la relación de $ 1.- $u igual a RM 2.- (cambio oficial del Banco de la República). Los costos del montaje y transporte de las máquinas, construcciones metálicas e instalaciones eléctricas se dividen en las partes a pagar en el país y en el extranjero según corresponda.

Las sumas calculadas se aumentaron para tener en cuenta los improvistos. Además se cargó un 4 % para la dirección de la obra y finalmente se hizo un recargo para interés durante el período de construcción . Este último se calculó para el tiempo comprendido entre el momento de la inversión y el comienzo del funcionamiento, y con un tipo de interés de 7 %. No se ha calculado ninguna amortización durante el período de construcción . La amortización del capital total invertido incluso los intereses durante el período de construcción corre a partir del comienzo del funcionamiento.

Las planillas siguientes muestran, como se dividen los costos totales de las diferentes etapas en los gastos puros de instalación y los distintos adicionales.

	a pagarse en el país	extranjero	suma	porcentajes		
	1000 $ o/u			%	%	%
Etapa I (N.N.80.0 - 2 máquinas)						
Según presupuestos	8295	9348	17643	100,0	93,5	82,1
Imprevistos	625	592	1217	6,9	6,5	5,7
Gastos de constr.	8920	9940	18860	106,9	100,0	87,8
Dirección de las Obras	502	252	754	4,3	4,0	3,5
Suma	9422	10192	19614	111,2	104,0	91,3
Interés dur.la constr.	948	928	1876	10,6	9,9	8,7
Suma	10370	11120	21490	121,8	113,9	100,0
Etapa IIa (N.N.80.0 - 3 máquinas)						
Según presupuestos	9683	12690	22373	100,0	93,8	82,7
Imprevistos	717	800	1517	6,7	6,2	5,5
Gastos de constr.	10400	13490	23890	106,7	100,0	88,2
Dirección de las obras	638	318	956	4,3	4,0	3,5
Suma	11038	13808	24846	111,0	104,0	91,7
Interés dur.la constr.	1061	1181	2242	10,0	9,4	8,3
Suma	12099	14989	27088	121,0	113,4	100,0

	a pagarse en el país	extranjero	suma	porcentajes		
	1000 $ o/u			%	%	%
Etapa IIb (N.N.80.0 4 máquinas)						
Según presupuestos	9799	14127	23926	100,0	93,7	82,8
Imprevistos	751	893	1644	6,7	6,3	5,5
Gastos de constr.	10550	15020	25570	106,7	100,0	88,3
Dirección de las obras	683	341	1024	4,3	4,0	3,6
Suma	11233	15361	26594	111,0	104,0	91,9
Interés dur.la constr.	1073	1272	2345	9,8	9,2	8,1
Suma	12306	16633	28939	120,8	113,2	100,0
Etapa III (Nivel normal 83.0)						
Según presupuestos	10158	14255	24413	100,0	93,7	82,8
Imprevistos	784	905	1689	6,8	6,3	5,6
Gastos de constr.	10942	15160	26102	106,8	100,0	88,4
Dirección de las obras	697	348	1045	4,3	4,0	3,5
Suma	11639	15508	27147	111,1	104,0	91,9
Interés dur.la constr.	1102	1282	2384	9,7	9,2	8,1
Suma	12741	16790	29531	120,8	113,2	100,0

Los gastos de las ampliaciones mismas se darán para mayor claridad por separado a continuación :

Ampliación de la etapa		a pagarse en el país	en el extranjero	exprop.	suma
		1000 $ o/u			
I	a la IIa	1729	3869	---	5598
IIa	a " IIb	207	1644	---	1851
IIb	a " III	435	157	2050	2642

Los costos para la ampliación de la etapa I a la etapa IIa comprenden la instalación de la tercera máquina y la instalación de la segunda línea de transmisión y por lo tanto son mucho más elevadas que los requeridos en la próxima ampliación, para la cual sólo se requiere instalar la cuarta máquina. La ultima etapa comprende los costos para la elevación del nivel normal de la cota 80,0 a la cota 83,0, y su parte principal es la correspondiente a la compra de terrenos. Para el valor de estos se ha tomado como anteriormente $ 47,50 o/u. Es dudoso que ese valor se mantenga hasta el momento de efectuar dicha compra.

En las sumas dadas se ha considerado solamente la construcción de una pasarela de 2 m de ancho en el coronamiento del dique, lo que es suficiente para el servicio de la obra. La construcción de un camino de 6,5 m de ancho útil, incluso la vereda, encarece la obra en $ 200 000.- o/u.

Todos los valores dados anteriormente se refieren al dique a contrafuertes de cabeza redonda. Para la segunda variante estudiada, dique de enrocamiento, los costos resultan algo mayores. La diferencia en los costos puros de construcción de la etapa I no es muy grande, el encarecimiento radica principalmente en los intereses durante el período de construcción. Esta variante requiere mayor tiempo para su construcción. Donde los costos puros de construcción son realmente más caros es para la elevación del nivel normal de cota 80,0 a la cota 83,0. En las siguientes planillas están puestos juntos los costos correspondientes a la variante I (dique a contrafuertes de cabeza redonda) y para la variante II (dique de enrocamiento).

	a pagarse en el país	a pagarse en el extranjero	Suma Variante II	Suma Variante I	Diferencia Variante II - I
			1000 $ o/u		
Etapa I (2 máquinas)					
G.de.constr.más dir.	8959	10874	19833	19614	+ 219
Interés dur. la constr.	1173	1209	2382	1876	+ 506
Suma	10132	12083	22215	21490	+ 725
Etapa IIa (3 máquinas)					
G.de.constr.más dir.	10575	14521	25096	24846	+ 250
Interés dur. la constr.	1286	1464	2750	2242	+ 508
Suma	11861	15985	27846	27088	+ 758
Etapa IIb (3 máquinas)					
G.de.constr.más dir.	10771	16104	26875	26594	+ 281
Interés dur. la.constr.	1298	1557	2855	2345	+ 510
Suma	12069	17661	29730	28939	+ 791
Etapa III(Nivel normal 83,0)					
G.d.constr.más dir.	11630	16564	28194	27147	+1047
Interés.dur.la constr.	1359	1589	2948	2384	+ 564
Suma	12989	18153	31142	29531	+1611

Hagamos notar que para la variante II resulta la parte a pagarse en el extranjero, comparada con la suma total, mayor que para la variante I. La explicación de esto es que el explosivo a emplearse para la obtención de las piedras debe comprarse en el extranjero, y también debido al gran equipo de máquinas necesario para este trabajo y que deberá pagarse con dinero extranjero. Para el dique a contrafuertes, por lo contrario , el cemento se comprará en su mayor parte en el país y además el equipo requerido no es tan grande como para el dique de enrocamiento. También en el dique de contrafuertes la tubería es más corta y, en consecuencia, los momentos de giro resultan menores, y por lo tanto las máquinas más livianas.

Los gastos para los dispositivos para la navegación, los que serán construídos mucho más tarde que la usina, están dados en la planilla siguiente:

	a pagarse en el país	a pagarse en el extranjero	suma
	1000 $ o/u		
Gastos de constr. incl. imprev.	1382	815	2197
Dirección de las obras	59	29	88
Suma	1441	844	2285
Interés durante la constr.	101	59	160
Suma	1542	903	2445

Estos costos se agregan a los de la obra sólo cuando se construyan las esclusas.

Diremos ahora algo sobre los costos de la red nacional.

La obra del Río Negro proporciona una cantidad de energía, que superará durante un tiempo relativamente largo el consumo de Montevideo. Por otro lado el interior del país está actualmente mal provisto de energía eléctrica , debido a los altos costos de la generación en las usinas locales. Es de gran importancia para el futuro del país la construcción de una Red Nacional que será la base del desarrollo de la economía de la Nación . Se presenta en condiciones especiales la obra del Río Negro para cumplir tal misión , primero por la cantidad de ener-

II. Gastos anuales.

Los gastos anuales se componen del servicio de capital (interés y amortización del capital invertido), retensión para renovación, gastos para reparación y por ultimo servicio y administración de la instalación.

La mayor de estas posiciones es, como siempre para instalaciones hidroeléctricas, el servicio de capital. Este depende naturalmente de las condiciones bajo las cuales sa haya hecho la financiación.

En lo que sigue calcularemos partiendo de un servicio de capital de 8 % para las inversiones en el país y en el extranjero.

En los cálculos económicos se ha calculado también los costos anuales para un servicio de capital de 10 %. Se da ahí (parte 14) la forma de hallar por interpolación los gastos anuales para diferentes tipos de interés. La cifra de 8 % resultaría, cuando la financiación se hiciera por emisión de títulos a intereses fijos, en la forma siguiente:

Tipo de interés nomínal		6 %
Amortización		1 %
	Suma	7 %
Curso de la emisión	87,5 %	
Interés efectivo	6 : 0,875 =	6,86 %
Servicio de capital efectivo	7 : 0,875 =	8,0 %

El interés de los títulos con los cuales se pagarán los terrenos expropiados se fijó en un 5 % y 1 % de amortización, ó sea un servicio de capital de 6 %. La emisión de estos títulos se hará al 100 % de su valor y por lo tanto se pagará el valor de los terrenos fijado por la oficina de aforo según el valor nominal de los títulos.

La retención para renovación está determinada por la vida de las diferentes partes de la instalación. Para una instalación hidroeléctrica esta posición juega un rol relativamente secundario frente al servicio de capital. Lo mismo puede decirse de los gastos para reparación y servicio y administración. Los cálculos de estos gastos están dados en la parte 14.

Los costos anuales suponiendo un servicio de capital de 8 % son:

Obra Río Negro y transmisión a Montevideo	a pagarse en el país	extranjero	Suma	%
	1000 $o/u			
Etapa I (nivel normal 80,0, 2 máquinas)				
Servicio de capital	1202	890	2092	78,1
Renovación	83	203	286	10,7
Reparación	112	28	140	5,2
Gastos generales	160	--	160	6,0
Suma	1557	1121	2678	100,0
%	58,1	41,8	100,0	
Etapa IIa(nivel normal 80,0, 3 máquinas)				
Servicio de capital	1340	1199	2539	75,0
Renovación	127	307	434	12,8
Reparación	170	43	213	6,3
Gastos generales	200	--	200	5,9
Suma	1837	1549	3386	100,0
%	54,3	45,7	100,0	
Etapa IIb(nivel normal 80,0, 4 máquinas)				
Servicio de capital	1356	1331	2687	74,4
Renovación	132	354	486	13,5
Reparación	190	47	237	6,6
Gastos generales	200	--	200	5,5
Suma	1878	1732	3610	100,0
%	52,0	48,0	100,0	
Etapa III (nivel normal 83,0)				
Servicio de capital	1515	1340	2855	75,5
Renovación	133	355	488	12,9
Reparación	190	49	239	6,3
Gastos generales	200	--	200	5,3
Suma	2038	1744	3782	100,0
%	53,9	46,1	100,0	

Red Nacional Etapa I	a pagarse en el país	extranjero	Suma	%
	1000 $o/u			
Servicio de capital	141	281	422	49,1
Renovación	46	92	138	16,0
Reparación) Gastos generales)	100	200	300	34,9
Suma	287	573	860	100,0
%	33,4	66,6	100,0	

Los gastos anuales en porcientos de las inversiones son:

Obra hidroeléctrica:

Etapa I	2678	. 100 :	27690	=	9,7 %
" IIa	3386	. 100 :	33288	=	10,2 %
" IIb	3610	. 100 :	35130	=	10,3 %
" III	3782	. 100 :	37781	=	10,0 %

Red Nacional:

Etapa I	860	. 100 :	5279	=	16,3 %

Los porcentajes relativamente pequeños que aparecen aquí para la obra hidroeléctrica se deben a la influencia de la posición compra de terrenos. Si se considera ahora solamente la parte restante resulta por ejemplo para la etapa I un gasto anual de $ 21,490 000.- o/u, lo que corresponde a un porcentaje de 10,7 % en vez de 9,7 % como arriba.

Los gastos anuales mencionados valen, naturalmente, mientras el capital no esté amortizado. Con las suposiciones hechas anteriormente se requiere 33 anos después de hecha la emisión para amortizar el capital. A partir de esta época, los gastos anuales serán solamente una cuarta parte del valor dado, puesto que faltará el servicio de capital, a pesar de lo cual, dada la retención para renovación tenida en cuenta, la obra puede considerarse como nueva.

III. Costo de la energía

Los costos de la energía se deducen de los gastos anuales de la obra del Río Negro y de las centrales térmicas en Montevideo. En la planilla siguiente se resumen los costos de la energía para diferentes etapas del consumo deducidos a base de los cálculos hechos en la parte 14. Las cifras dadas se refieren a la energía medida en el lado de 33 kV de los transformadores en Montevideo.

Consumo total	Mio kWh	251	377	740
Gastos anuales Río Negro	Mio $o/u	2,68	2,68	3,61
Energía hidráulica	Mio kWh	236	324	504
Costo del kWh hidr.	cts/kWh	1,14	0,83	0,72
Gast.anuales Cent.Térm.	Mio $o/u	1,41	1,64	3,41
Energía térmica	Mio kWh	15	55	236
Costo del kWh térmico	cts/kWh	9,40	2,98	1,45
Gastos anuales totales	Mio $o/u	4,09	4,32	7,02
Costo del kWh mixto	cts/kWh	1,63	1,15	0,95

En esta planilla se calculó para el servicio térmico con el precio actual de los combustibles , por cierto bien bajo , de $ 1,20 o/u por Mio kcal. Aumentando el precio de los combustibles , aumenta también el costo de la energía mixta aunque en una cantidad muy pequeña . Las oscilaciones de los precios de los combustibles que complican tanto una buena tarificación de un servicio puramente térmico, no juegan ningun rol de importancia en un servicio mixto.

Para evidenciar la influencia que tienen las oscilaciones del precio de los combustibles en el costo de la energía en servicio mixto y en servicio puramente térmico sirve la tabla siguiente:

Consumo anual	Servicio mixto Costo del kWh para un precio del comb. de 1,20 $	1,80 $	dif.	Servicio pur.térm. Costo del kWh para un precio del comb. de 1,20 $	1,80 $	dif.
Mio kWh	cts/kWh		%	cts/kWh		%
251	1,63	1,67	2	1,58	1,82	15
377	1,15	1,20	4	1,21	1,45	20
740	0,95	1,04	9	1,01	1,25	24

El aumento de los costos de producción a consecuencia del aumento del precio del combustible es, como se ve, para el servicio puramente térmico, mucha veces mayor que el correspondiente para el servicio mixto.

La tabla anterior permite también la comparación de los costos de la corriente para servicio mixto y para servicio puramente térmico . Los costos del servicio puramente térmico han sido detenidamente investigados en la parte 14 y comparados con los del servicio mixto. Aquí sólo se reproducen los valores hallados. Hagamos remarcar que es debido al precio actual muy bajo de los combustibles y al haberse tomado el valor bastante elevado de 8 % como servicio de capital que ambos servicios resultan equivalentes, considerados del punto de vista comercial de una organización particular . Esto vale a partir de aquel momento en que las centrales térmicas actuales trabajan en el límite de su capacidad, es decir cuando es necesario ampliar las instalaciones. De acuerdo con nuestros cálculos,tal ampliación sería necesaria cuando el consumo total fuera de 240 kWh por año . El consumo total de 251 kWh considerado como ejemplo en las tablas anteriores está ya por encima de ese límite y por lo tanto el costo del kWh puramente térmico fué calculado ya teniendo en cuenta para esta etapa del consumo, una ampliación de la central térmica , por lo cual resulta el valor relativamente alto de cts. 1,58 o/u . Actualmente, el costo de la energía debe ser más barato a pesar del menor consumo,puesto que las instalaciones existentes están en parte ya amortizadas, y en parte se han comprado en Pesos y debido a la actual desvalorización de esta moneda, lo que se paga para el servicio de capital está por debajo del valor real.

Si ahora consideramos el problema del punto de vista de la economía nacional, resulta el servicio mixto mucho más ventajoso a pesar de las suposiciones hechas para el precio de combustibles y para el servicio de capital. La balanza comercial será influenciada en forma extraordinariamente favorable .Construyendose el Río Negro en vez de ampliarse la central térmica,el país desembolsará al extranjero ya desde un principio alrededor de un mill-ón de Pesos menos por año. Además la regularización del Río Negro que viene unida con el aprovechamiento hidroélectrico presenta grandes ventajas para el país . Estas ventajas son difíciles a evaluar en números, pero uno puede formarse una idea de su magnitud, cuando se consideran las sumas incluidas en el costo de la instalación y que sirven para tal objeto, a saber el dique y el embalse. Estas partes demandan 16 millones de Pesos y los gastos anuales que le corresponden son de alrededor 1,2 millones de pesos. Si se considera que en ciertas partes se han construído obras de igual y aun mayor importancia sólo con el objeto de regularizar el río, queda justificado tomar un cierto porcentaje de esos 1,2 Mio $ como uno de los beneficios que da la obra además del suministro de energía.

Teniendo en cuenta que casi con seguridad aumentará el precio de combustibles , las ventajas del servicio mixto sobre el servicio térmico se harán aún mayores. El servicio mixto superará entonces, mismo del punto de vista comercial de una impresa particular y aún en el caso muy improbable de tenerse que calcular con un servicio de capital mayor que 8 %.

Tampoco hay que olvidar la seguridad económica que presenta la amortización de una obra hidroeléctrica . Tan pronto se haya amortizado ec capital, la usina hidroeléctrica suministra energía casi gratuitamente. Para una central térmica,mismo después del período de amortización , los gastos para combustibles y para el personal se deberan pagar como antes y estos costos junto con las inversiones relativamente altas para renovación y reparación de las máquinas son aproximadamente la mitad de los gastos anuales, mismo considerandose el reducido precio actual de combustibles.

. . El servicio de suministro de energía al país se ve muy beneficiado con la construcción de la obra del Río Negro,primero porque permite suministrar la energía desde dos puntos:

Rincón del Bonete y Montevideo , y segundo porque el gran caudal Río Negro hace posible entregar a la red corriente a un precio muy bajo . Construída la etapa I de la Red Nacional (evaluada en $ 5,279 000 o/u) se podría entregar 20 Mio kWh para el interior al precio de unos 5 cts/kWh del lado de baja tensión ,respectivamente para 30 Mio kWh a unos 3,5 cts/kWh . En la parte 14 está dada la forma del cálculo.

Muy especialmente barato podría suministrarse la corriente a las industrías que se establecieran en el Río Negro mismo . Es evidente que es una cuestión de la política de tarificación a emplear determinar el precio de tal corriente.

C o p i a

Republica Oriental del Uruguay

Facultad de Ingeniería y Ramas anexas.

Instituto de ensayos de materiales.

Ensayo No	5647 agua del rio	5648 Perforacion	5649 Perforacion
Caracteres físicos			
Color	amarillento	Incolora	Incolora
Sabor	insipido	algo salado	insipido
Olor	inodoro	inodoro	inodoro
Aspecto	limpido	limpido	limpido
Reacción	neutra	neutra	neutra
Materia en suspensión	indicios	no contiene	no contiene
Análisis quimico	expresado en miligramos por litro		
Cloruros, en Cl Na	no contiene	614	22
Nitratos	no contiene	no contiene	indicios
Residuo fijo á 180° C	95	1424	312
Residuo calcinado	39	1168	89
Materia mineral, volátil	36,5	256	223
Materia orgánica, no volatil	56	no contiene	no contiene
Alcalinidad total en CO^3Ca	16	266	87
Sulfatos, en SO^4Ca	no contiene	590	no contiene
Dureza	expresada en CO^3Ca Método de Boutron y Boudet		
Total	4	9	25
Permanente	4	6	19
Temporaria		3	6

Montevideo, Febrero 23 de 1931

el Director

fdo. V.I. Garcia.

s anexas.

5649
Perforacion

ncolora
nsipido
nodoro
impido
eutra
o contiene

22
indicios
312
89
223
no contiene
87
no contiene

tron y
Boudet

25
19
6

Ensayo Numero 5529 de una muestra de agua del rio.

Propuesta por la C.N.d.E.H.
Datos solicitados: Determinación del residuo seco y de la durezza.

Resultados en gramos por cien litros de agua

Residuo seco a 100° C	13,20
a 180° C	12,20
Dureza (Expresada en CO^3Ca. Método de Boutron y Boudet)	
Total	6.75
Permanente	4.40
Temporaria	2,35

Ensayo Numero 5530 de agua surgente de la Perforación 77

Residuo seco a 100° C	33,70
a 180° C	33,10
Dureza total	29,00°
Permanente	22,50°
Temporaria	6,50°

Ensayo Numero 5531 de un sedimento que se encontró en el agua surgente.

Datos solicitados: Análisis químico.

Resultados		
Pérdida al rojo	%	14,04
Sílice total	"	79,34
Sesquióxidos de hierro y aluminio	"	1.00
Oxido de Calcio	"	4,88
" " magnésio	"	0,18
No dosados y pérdidas	"	0.56
Total	%	100,00

Montevideo, 13 de Enero de 1931
el Director
fdo. V. I. García.